

# BEST AVAILABLE COPY

## Directly modulatable laser

Patent number: DE10006050

Publication date: 2001-08-23

Inventor: TUENNERMANN ANDREAS (DE); ZELLMER HOLGER (DE); RUSKE JENS-PETER (DE)

Applicant: SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A (DE)

Classification:

- International: H01S3/105, H01S3/106, H01S3/16, H01S3/23, H01S3/098

- european: H01S3/105

Application number: DE20001006050 20000210

Priority number(s): DE20001006050 20000210

Also published as:

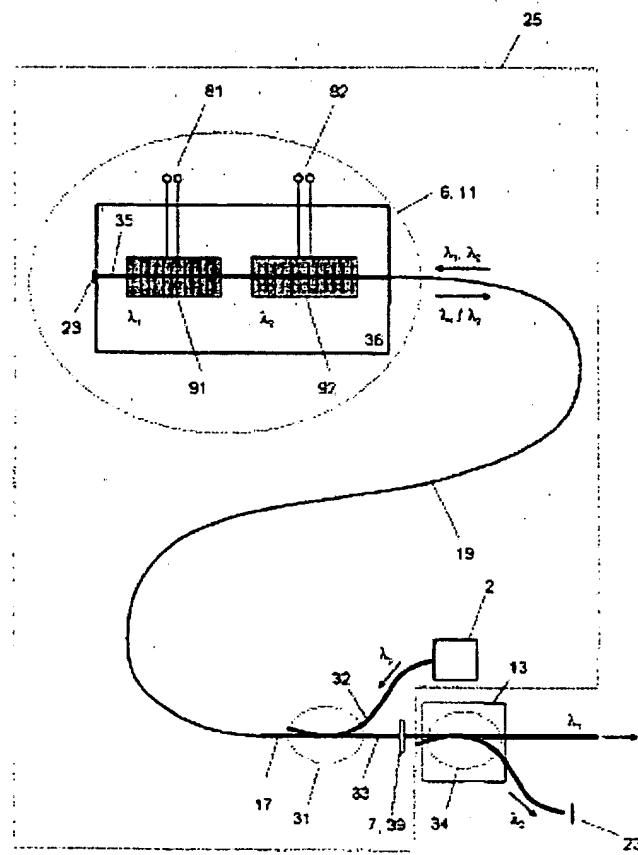
US6697394 (B2)

US2001014107 (A1)

Abstract not available for DE10006050

Abstract of correspondent: US2001014107

A directly modulatable laser comprising an active medium inside a laser cavity formed by a resonator mirror and an out-coupling mirror, and a pump light source exciting the active medium. It is characterized in that the active medium generates radiation of two wavelengths ( $\lambda_{bd1}$  and  $\lambda_{bd2}$ ) and the resonator mirror is constructed as a controllable reflector by which the reflectivity is controllable for each of the two wavelengths ( $\lambda_{bd1}$  and  $\lambda_{bd2}$ ) and the controllable reflector is connected with a control unit, wherein the reflection factor is controlled in such a way that the inversion density of the electrons which is generated in the active medium is constant and the light output of one of the wavelengths (( $\lambda_{bd1}$ ) is controllable between a minimum value and a maximum value according to an applied control signal, wherein the control of the two wavelengths (( $\lambda_{bd1}$  and  $\lambda_{bd2}$ ) is carried out in push-pull





⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift

## DE 100 06 050 A 1

⑮ Int. Cl. 7:  
**H 01 S 3/105**  
H 01 S 3/106  
H 01 S 3/16  
H 01 S 3/23  
H 01 S 3/098

⑯ Aktenzeichen: 100 06 050.1  
⑯ Anmeldetag: 10. 2. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 23. 8. 2001

DE 100 06 050 A 1

⑰ Anmelder:

SCHNEIDER Laser Technologies Aktiengesellschaft,  
07548 Gera, DE

⑯ Vertreter:

Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687  
München

⑰ Erfinder:

Tünnermann, Andreas, Prof. Dr., 07743 Jena, DE;  
Zellmer, Holger, Dr., 99441 Magdala, DE; Ruske,  
Jens-Peter, Dr., 07749 Jena, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

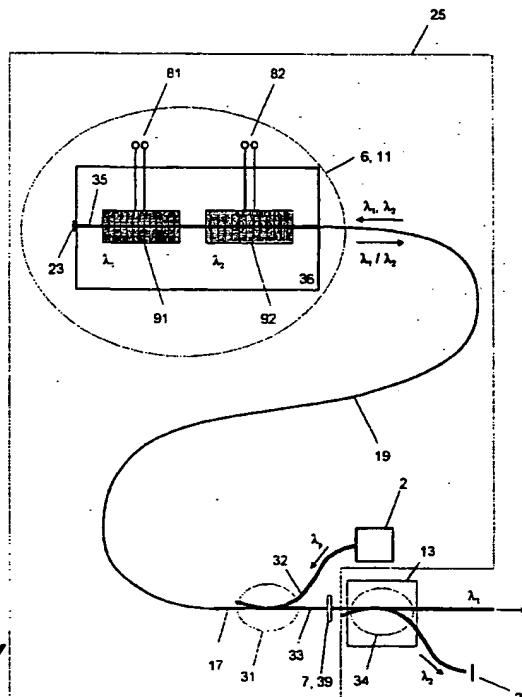
DE	37 04 338 C2
DE	198 29 684 A1
DE	197 18 997 A1
DE	195 29 507 A1
DE	33 01 092 A1
GB	13 99 908
US	35 82 819
EP	09 30 679 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Direkt modulierbarer Laser

⑯ Die Erfindung betrifft einen direkt modulierbaren Laser, bestehend aus einem aktiven Medium (12) innerhalb einer Resonatorspiegel (6) und eines Auskopplerspiegel (7) gebildeten Laserkavität und einer das aktive Medium (12) anregenden Pumplichtquelle (2). Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium (12) Strahlung zweier Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) erzeugt und der Resonatorspiegel (6) als steuerbarer Reflektor ausgebildet ist, mit dem die Reflexivität für jede der beiden Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) steuerbar ist und der steuerbare Reflektor (4, 5) mit einer Ansteuereinheit (1) verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium (12) erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Lichtleistung einer der Wellenlängen ( $\lambda_1$ ) zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal (E) aussteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) im Gegenakt erfolgt.



DE 100 06 050 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen direkt modulierbaren Laser, bestehend aus einem Lasermedium innerhalb einer Laserkavität.

Die Anordnung dient der direkten Modulation der Emission eines Lasers, insbesondere eines Festkörperlasers oder Faserlasers oder eines nachverstärkten Festkörperlasers oder eines nachverstärkten Faserlasers.

Faserlaser sind beispielsweise aus R. G. Smith, Appl. Opt. 11, 2489 (772), H. Po, et. al. 'High Power Neodymium-doped Single Transverse Mode Fibre Laser' Electronics Letters Vol. 29, No. 17, P. 1500 (793) und P. Urquhart 'Review of rare earth doped fibre lasers and amplifiers' IEE Proceedings, Voll 135, Pt. J, No. 6 December (788) bekannt. Zur Modulation der Lichtemission eines Faserlasers ist es möglich, die Lichtleistung der Pumplichtquelle zu modulieren. Mit dieser Methode lassen sich jedoch nur Modulationsfrequenzen unterhalb der Relaxationsfrequenz des Faserlasers erreichen, im allgemeinen also nur einige zehn bis hundert Kilohertz. Eine Verbesserung der Modulation läßt sich durch kontinuierliches Pumpen des Faserlasers und Nachverstärkung einer schnell modulierbaren, externen Signalquelle bei der Emissionswellenlänge des Faserlasers (seed) in der Laserfaser erreichen.

Die schnell modulierbare Signalquelle kann aus einer durch den Injektionsstrom modulierten Laserdiode, einem gütegeschalteten Laser oder Dauerstrichlaser mit Intensitätsmodulatoren im Lichtweg zwischen Signallichtquelle und Faserlaser erfolgen. Dieses Verfahren führt allerdings zu geringen Modulationsstufen, da bei ausgeschalteter Signallichtquelle die verstärkte Spontanemission (ASE) des Faserlasers zu einer Verminderung des Kontrastes führt. Weiterhin kommt es beim Einschalten der Signallichtquelle nach einer längeren Dunkelpause aufgrund der während der Dunkelpause aufgebauten überhöhten Inversion in der aktiven Faser zu einer kurzzeitigen Leistungsüberhöhung des Ausgangssignals.

Dies kann durch ein Zwei-Wellenlängen-, ein Zwei-Polarisations- oder Zwei-Richtungsverfahren vermieden werden, wie diese in der deutschen Patentanmeldung DE 198 29 684 A1 beschrieben sind. Durch Umschalten bzw. Modulation von Emissionslicht zweier Wellenlängen, zweier Polarisationen bzw. zweier Durchstrahlungsrichtungen durch den Faserlaser in der Weise, daß die Summe beider Lichtleistungen konstant bleibt, wird der Faserverstärker stets in Sättigung gehalten. Dadurch werden die unerwünschte ASE vollständig unterdrückt und ein hoher Kontrast erhalten. Eine Inversionsüberhöhung nach Dunkelpausen wird vermieden. Das Umschalten, beziehungsweise die Modulation des Signallichts, erfolgt durch Modulation des Injektionsstroms zweier als seed dienender Laserdioden.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist, daß die Emissionswellenlängen von Signalquelle und Faserlaser übereinstimmen müssen. Bei der Verwendung eines Diodenlasers als Signalquelle ist das insbesondere im sichtbaren Spektralbereich nicht immer möglich. Ferner erfordert die Einkopplung von zwei Laserdioden in eine Monomodefaser komplizierte optomechanische Präzisionselemente. Es ist nicht möglich, kompakte und justierfreie Systeme, bestehend aus Pumplichtquellen, Umschalter bzw. Modulator und Faserlaser, zu schaffen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine kompakte Baugruppe als Kombination eines Festkörperlasers oder eines Faserlasers oder eines nachverstärkten Festkörperlasers oder eines nachverstärkten Faserlasers und einer internen Modulationsanordnung zur Verfügung zu stellen, die in der Lage ist, intensitätsmoduliertes Laserlicht bis zu extrem ho-

hen Modulationsfrequenzen und hohen Lichtleistungen zu liefern. Weiterhin soll die Erfindung das Problem der ungenügenden Leistungsfestigkeit von Einzelkomponenten modulierbarer Festkörperlaser, Faserlaser und Verstärker lösen.

5 Weiterhin soll eine Modulation des Lichtes mindestens einer Wellenlänge so erfolgen, daß deren Intensitätsverlauf genauer als bisher möglich der anliegenden elektrischen Modulationsfunktion folgt.

Die Erfindung betrifft einen direkt modulierbaren Laser, 10 bestehend aus einem aktiven Medium innerhalb einer durch einen Resonatorspiegel und einen Auskoppelspiegel gebildeten Laserkavität und einer das aktive Medium anregenden Pumplichtquelle.

Die Erfindung ist in einem ersten Fall dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium Strahlung zweier Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  erzeugt und der Resonatorspiegel als steuerbarer Reflektor ausgebildet ist, mit dem die Reflektivität für jede der beiden Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  steuerbar ist und der steuerbare Reflektor mit einer Ansteuereinheit verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Leistung einer der Wellenlängen zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal E ansteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  im Gegentakt erfolgt. Diese Anordnung wird auch als direkt modulierbarer Laser nach dem Zwei-Wellenlängenverfahren bezeichnet.

In einer ersten Ausführung werden die zwei Emissionswellenlängen in einem breitbandig verstärkenden Medium erzeugt, wobei diese durch die erfundsgemäße Konfiguration des Laserresonators selektiert werden.

In einer zweiten Ausführung werden die zwei Emissionswellenlängen in einem auf zwei verschiedenen Linien verstärkenden aktiven Medium erzeugt.

Die Erfindung ist hier nur für zwei Wellenlängen beschrieben. Selbstverständlich kann der direkt modulierbare Laser auch mit drei oder mehr Wellenlängen betrieben werden, wobei von den Grundgedanken der Erfindung Gebrauch gemacht werden muß. Hier wird also der Faserlaser mit zwei Wellenlängen betrieben. Aufgrund der wellenlängenselektiven Eigenschaften der Reflektoren ist die Resonanzbedingung im Laser nur für die Wellenlängen gegeben, die durch die Ausbildung der Reflektoren vorgegeben werden. Somit emittiert der Laser nur auf diesen beiden Wellenlängen. Durch für beide Wellenlängen unabhängige Steuerung des Reflexionsgrades wird der Grad der Verstärkung eingestellt. Im allgemeinen ist die Steuerung so erfolgbar, daß die Summe der Emissionsleistungen beider Wellenfänger konstant ist.

Der steuerbare Reflektor dient hier als die Wellenlängen selektierender Resonatorspiegel des Lasers oder eines nachverstärkten Lasers. Der steuerbare Reflektor enthält mindestens einen Modulator für die Phasenlage und/oder die Polarisation und/oder die optische Leistung von zwei Lichtanteilen. Am Ausgang des Lasers oder des nachverstärkten Lasers ist die Wirkung einer Intensitätsmodulation für die beide Emissionswellenlängen oder auch nur für eine dieser Wellenlängen nutzbar.

60 Beide Emissionswellenlängen werden hier nicht externen Signalquellen, sondern sie werden der mit aktiven Ionen dotierten Laserfaser selbst entnommen, deren Wellenlängenspektrum beide Emissionswellenlängen umfaßt oder es wird eine aktiv dotierte Faser verwendet, die auf zwei diskreten Wellenlängen emittieren kann. Die Beträge der beiden Emissionswellenlängen ergeben sich bei dem Zwei-Wellenlängenverfahren aus der Ausbildung der wellenlängenselektierenden Resonatorspiegel und dem Emissionsspektrum

65

der aktiven Faser.

Die Erfindung ist in einem zweiten Fall dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium Strahlung einer Wellenlänge mit zwei Polarisationsrichtungen  $P_1$  und  $P_2$  erzeugt und der Resonatorspiegel als steuerbarer Reflektor ausgebildet ist, mit dem die Reflexivität für jede der beiden Polarisations  $P_1$  und  $P_2$  steuerbar ist und der steuerbare Reflektor mit einer Ansteuereinheit verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Leistung einer der Polarisations zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal aussteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Polarisationsrichtungen  $P_1$  und  $P_2$  im Gegentakt erfolgt.

Diese Anordnung wird auch als direkt modulierbarer Laser nach dem Zwei-Polarisationsverfahren bezeichnet.

Der steuerbare Reflektor dient hier als die Polarisationsrichtungen selektierender Resonatorspiegel des Lasers oder des nachverstärkten Lasers. Der steuerbare Reflektor enthält mindestens einen Modulator für die Phasenlage und/oder die Polarisation und/oder die optische Leistung von zwei Lichtanteilen.

Am Ausgang des Lasers oder des nachverstärkten Lasers ist die Wirkung einer Polarisationsmodulation für die beide Emissionswellenlängen oder auch nur für eine dieser Wellenlängen nutzbar.

Zwei Polarisations des emittierten Lichts können beim Zwei-Polarisationsverfahren einer unpolarisierten aktiven Faser entnommen werden, die dabei als polarisationserhaltende oder nichtpolarisationserhaltende Faser ausgelegt sein kann. In letzterem Fall kann eine Kontrolle der Doppelbrechung der Faser erforderlich sein.

Die Erfindung ist in einem dritten Fall dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium Strahlung einer Wellenlänge erzeugt und der Resonatorspiegel und der Auskoppelspiegel jeweils als steuerbare Reflektoren ausgebildet sind, mit denen die Richtung  $R_1$  und  $R_2$  der Lichtabstrahlung steuerbar ist und jeder der steuerbaren Reflektoren mit einer Ansteuereinheit verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Leistung einer der Richtungen zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal aussteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Richtungen  $R_1$  und  $R_2$  im Gegentakt erfolgt.

Diese Anordnung wird auch als direkt modulierbarer Laser nach dem Zwei-Richtungsverfahren bezeichnet.

Als aktives Medium eignet sich besonders ein Festkörper oder eine Lichtleitfaser. Es können jedoch auch Farbstoffe oder Gase als aktive Medien eingesetzt werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung erhalten die direkt modulierbaren Laser dadurch, daß die Selektion der zwei Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  oder der zwei Polarisations  $P_1$  und  $P_2$  nach dem Ausgang des Lasers erfolgt, d. h. nachdem die Lichtanteile die Laserkavität durch den Auskoppelspiegel verlassen haben.

Eine Weiterbildung der direkt modulierbaren Laser besteht darin, daß das modulierte Laserlicht in einem Festkörper-Verstärker oder Faser-Verstärker nachverstärkt wird.

Auch bei einer Nachverstärkung des Laserlichtes ist es vorteilhaft, daß die Selektion der zwei Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  oder der zwei Polarisations  $P_1$  und  $P_2$  nach dem Ausgang der Verstärkersstufe erfolgt.

Eine Weiterbildung der Erfahrung besteht darin, daß der Resonatorspiegel und der Auskoppelspiegel jeweils als wellenlängenselektive oder polarisationsselektive steuerbare Reflektoren ausgebildet sind und das aktive Medium Strah-

lung zweier Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  erzeugt oder das aktive Medium Strahlung einer Wellenlänge mit zwei Polarisationsrichtungen  $P_1$  und  $P_2$  erzeugt. Diese Anordnung ist ein direkt modulierbarer Laser, bei dem das Zwei-Wellenlängenverfahren oder das Zwei-Polarisationsverfahren mit dem Zwei-Richtungsverfahren verbunden ist.

Die Ausbildung des steuerbaren Reflektors erfolgt als volumentropisches oder als integriert-optisches Bauelement.

Die Erfindung betrifft somit einen direkt modulierbaren Laser und einen direkt modulierbaren nachverstärkten Laser, bei dem mindestens einer der beiden Spiegel, die die Laserkavität bilden, als steuerbarer Reflektor ausgebildet ist. Das Bauelement "Steuerbarer Reflektor" dient als Wellenlängenumschalter für das Zwei-Wellenlängenverfahren, als Polarisationsumschalter für das Zwei-Polarisationsverfahren oder als Lichtmodulator für das Zwei-Richtungsverfahren. Beim Zwei-Wellenlängenverfahren und beim Zwei-Polarisationsverfahren ist vorzugsweise nur der Resonatorspiegel als steuerbarer Reflektor ausgebildet. Es können aber auch beide Spiegel der Laserkavität steuerbar ausgebildet werden.

Beim Zwei-Richtungsverfahren müssen der Resonatorspiegel und der Auskoppelspiegel steuerbar ausgebildet sein. Werden hier diese beiden Spiegel so ausgebildet, daß diese wellenlängen- oder polarisationsumschaltbar sind, wird eine kombinierte Wirkung der Verfahren erreicht, die darin besteht, daß sich die Modulationstiefe verbessert.

Bei Verwendung miniaturisierter bzw. integriert-optischer steuerbarer Reflektoren sind extrem hohe Modulationsfrequenzen bis ca. 40 GHz und Modulationstiefen bis 40 dB erreichbar.

Beide Emissionswellenlängen oder Emissionspolarisationen oder Emissionsrichtungen werden somit nicht aus externen Strahlungsquellen zugeführt, sondern dem mit aktiven Ionen dotierten Lasermedium selbst entnommen. Hier muß sicher gestellt werden, daß der Elektronenübergang vom oberen Laserniveau auf das (die unteren Laserniveau(s) zeitlich konstant ist. Gleichbedeutend hiermit ist die Forderung nach zeitlicher Konstanz der Inversionsdichte.

Die Steuerung des Elektronenübergangs erfolgt beim Zwei-Wellenlängenverfahren durch Steuerung der einzelnen Elektronenübergänge auf den beiden ausgewählten Emissionswellenlängen, beim Zwei-Polarisationsverfahren durch Steuerung der beiden Polarisations und beim Zwei-Richtungsverfahren durch Steuerung der Lichtanteile beider Emissionsrichtungen.

Die Beträge der beiden Emissionen ergeben sich aus der Ausbildung und Ansteuerung der steuerbaren Reflektoren und dem Emissionsspektrum des aktiven Mediums.

In der Regel wird eine der beiden Emissionswellenlängen oder Emissionspolarisationen oder Emissionsrichtungen genutzt wird und die andere wird in einer Strahlfalle absorbiert. Es können aber auch die beiden Emissionen des direkt modulierbaren Lasers einer Nutzbarmachung zugeführt werden.

Durch eine nachfolgende Anordnung eines Verstärkers, der, falls erforderlich z. B. mittels eines Faraday-Isolators vom Laser getrennt ist, ist es weiterhin möglich, beide Emissionswellenlängen oder -polarisationen bei kleiner optischer Leistung (Milliwatt-Bereich) zu modulieren, im nachgeschalteten Verstärker zu verstärken und anschließend den genutzten vom ungenutzten Anteil zu trennen.

Hierdurch wird eine eventuelle Leistungslimitierung der Reflektorbaulemente umgangen und es kann der Hochleistungsbereich von einigen Watt erschlossen werden. Dadurch, daß der Verstärker durch den Zwei-Wellenlängen-Betrieb oder den Zwei-Polarisations-Betrieb stets in Sättigung gehalten wird, läßt sich ein besonders hohes Kontrastver-

hältnis erreichen, da die verstärkte Spontanemission auch im Verstärker unterdrückt wird. Die Trennung der beiden Emissionswellenlängen oder Emissionspolarisationen erfolgt am Verstärkerausgang.

Durch Ausbildung des Lasers als Faserlaser, des Verstärkers als Lichtleitfaserverstärker und der steuerbaren Reflektoren als integriert-optische bzw. miniaturisiert-optische Bauelemente ist ein hoher Integrationsgrad erreichbar und die Baugruppe wird weitgehend störunempfindlich und ju-

ststofffrei.  
Dabei beruht der steuerbare Reflektor zum Beispiel auf einem der nachfolgend genannten Prinzipien, die steuerbar sind: Interferometer, Absorber, Lichtwegumschaltung auf Basis elektrooptischer, akustooptischer, thermooptischer photothermischer Modulation oder Injektion oder Verarmung von Ladungsträgern in Wellenleitern. Weiterhin werden Flüssigkeitskristall-Modulatoren genutzt. Eine weitere Möglichkeit ist die Erzeugung einer periodischen Änderung der geometrischen Form des Wellenleiters, z. B. als steuerbares Amplitudengitter.

Insbesondere ist es äußerst vorteilhaft, daß der oder die steuerbaren Reflektoren direkt mit einem Ende eines Faserlasers oder eines Faserverstärkers oder zwei dieser steuerbaren Reflektoren mit jeweils einem der zwei Enden eines Faserlasers optisch gekoppelt sind.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Figuren beschrieben. Es zeigen:

**Fig. 1:** Direkt modulierbarer Laser im Zwei-Wellenlängenverfahren

**Fig. 2:** Direkt modulierbarer Laser im Zwei-Polarisationsverfahren

**Fig. 3:** Direkt modulierbarer Laser im Zwei-Richtungsverfahren

**Fig. 4:** Direkt modulierbarer nachverstärkter Laser im Zwei-Wellenlängenverfahren

**Fig. 5:** Direkt modulierbarer nachverstärkter Laser im Zwei-Polarisationsverfahren

**Fig. 6:** Direkt modulierbarer Festkörperlaser mit steuerbaren Reflektoren nach dem Zwei-Richtungsverfahren, mit Festkörper-Modulatoren

**Fig. 7:** Direkt modulierbarer Faserlaser im Zwei-Wellenlängenverfahren

**Fig. 8:** Direkt modulierbarer Faserlaser im Zwei-Polarisationsverfahren

**Fig. 9:** Direkt modulierbarer Faserlaser im Zwei-Richtungsverfahren

**Fig. 10:** Direkt modulierbarer nachverstärkter Faserlaser im Zwei-Wellenlängenverfahren

**Fig. 11:** Direkt modulierbarer nachverstärkter Faserlaser im Zwei-Polarisationsverfahren

**Fig. 12:** Direkt modulierbarer Faserfaser mit steuerbarem Reflektor nach dem Zwei-Wellenlängenverfahren, mit einem gekoppelten Bragg-Reflektor

**Fig. 13:** Direkt modulierbarer Faserlaser mit steuerbarem Reflektor für das Zwei-Wellenlängenverfahren, mit gekoppelten Streifenwellenleiter-Interferometer-Reflektoren

**Fig. 14:** Direkt modulierbarer Faserlaser mit steuerbaren Reflektoren nach dem Zwei-Richtungsverfahren, mit zwei gekoppelten Streifenwellenleiter-Interferometer-Reflektoren

**Fig. 15:** Direkt modulierbarer Festkörperlaser mit steuerbaren Reflektoren nach einem kombinierten Zwei-Wellenlängen-/Zwei-Richtungsverfahren, mit zwei gekoppelten Streifenwellenleiter-Interferometer-Reflektoren

**Fig. 1** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines modulierbaren Lasers in volumenoptischer Ausführung im Zwei-Wellenlängenverfahren.

Licht aus einer Pumplichtquelle 2 mit der Wellenlänge  $\lambda_p$

wird in das aktive Medium 12 eingestrahlt. Die Einstrahlung kann beispielsweise in transversaler Weise oder in longitudinaler Weise erfolgen. Das aktive Medium 12 ist in der Lage, auf zwei verschiedenen Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  zu emittieren. Diese können aus einem spektralen Band der Emission entnommen werden, z. B. Nd-Glas liefert eine Emission zwischen 1,06 µm und 1,065 µm, entnommen werden z. B. 1,062 µm und 1,064 µm oder das aktive Medium liefert zwei schmalbandige Emissionslinien, z. B. PrYb-Glas liefert 635 nm und 725 nm.

An einem Ende des aktiven Mediums 12 ist ein erster Wellenlängenteiler 11 angeordnet, der z. B. als dichroitischer Spiegel ausgeführt ist. Jede der beiden Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  wird jeweils zu einem in seiner Reflektivität steuerbaren Reflektor 4 und 5 geführt, die in der Gesamtheit mit dem Wellenlängenteiler 11 einen ersten Resonatorspiegel bilden, der ein steuerbarer Resonatorspiegel 6 ist. Die steuerbaren Reflektoren 4 und 5 sind z. B. als Fabry-Perot-Resonator ausgebildet, dessen jeweilige Kavität ganz oder teilweise aus einem elektrooptischen Medium besteht, mittels dessen Brechzahl der Reflexionsgrad jedes Reflektors gesteuert werden kann.

Am anderen Ende des aktiven Mediums 12 ist ein Auskoppelspiegel 7 als zweiter Resonatorspiegel angeordnet.

Der steuerbare Resonatorspiegel 6 und der Auskoppelspiegel 7 bestimmen mit dem aktiven Medium 12 eine Laseraktivität. Das emittierte Licht der Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  wird mit einem zweiten Wellenlängenteiler 13 aufgespalten. Das im Beispiel nicht genutzte Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$  wird in einer Strahlfalle 23 absorbiert.

Die steuerbaren Reflektoren 4 und 5 werden mit einer Ansteuereinrichtung 1 durch ein Eingangssignal E so angesteuert, daß der Laser gleichzeitig auf beiden Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  emittiert und die Inversionsdichte im aktiven Medium 12 konstant ist (Zwei-Wellenlängenverfahren). Das Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  ist hierdurch in seiner Intensität von Null bis zu einem Maximalwert modulierbar und steht zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

Fig. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines modulierbaren Lasers in volumenoptischer Ausführung im Zwei-Polarisationsverfahren.

Licht aus der Pumplichtquelle 2 mit der Wellenlänge  $\lambda_p$  wird in das aktive Medium 12 eingestrahlt. Die Einstrahlung kann beispielsweise in transversaler Weise oder in longitudinaler Weise erfolgen. Das aktive Medium ist nur in der Lage, auf der Wellenlänge  $\lambda_1$  zu emittieren, allerdings mit den um 90° versetzten Polarisationsrichtungen  $P_1$  und  $P_2$ .

An einem Ende des aktiven Mediums 12 ist ein erster Polarisationssteiler 14 angeordnet, der z. B. als doppelbrechender Kristall ausgeführt ist. Jeweils eine der beiden Polarisationsrichtungen  $P_1$  oder  $P_2$  wird zu einem in seiner Reflektivität steuerbaren Reflektor 4 oder 5 geführt, die in der Gesamtheit mit dem Polarisationsstrahleiter 14 den steuerbaren Resonatorspiegel 6 bilden. Am anderen Ende des aktiven Mediums 12 ist der Auskoppelspiegel 7 angeordnet. Das emittierte Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  mit den Polarisationsrichtungen  $P_1$  und  $P_2$  wird mit einem zweiten Polarisationssteiler 15 aufgespalten. Das nicht genutzte Licht der Polarisierung  $P_2$  wird in der Strahlfalle 23 absorbiert. Das Licht mit der Polarisierung  $P_1$  ist das Nutzlicht.

Die steuerbaren Reflektoren 4 und 5 werden so angesteuert, daß der Laser gleichzeitig auf beiden Polarisierungen  $P_1$  und  $P_2$  emittiert und die Inversionsdichte im aktiven Medium 12 konstant ist.

Fig. 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines modulierbaren Lasers in volumenoptischer Ausführung im Zwei-Richtungsverfahren.

Licht aus der Pumplichtquelle 2 mit der Wellenlänge  $\lambda_p$

wird in das aktive Medium 12 eingestrahlt. Die Einstrahlung kann beispielsweise in transversaler Weise oder in longitudinaler Weise erfolgen. Das aktive Medium ist in der Lage, auf der Wellenlänge  $\lambda_1$  zu emittieren.

An einem Ende des aktiven Mediums 12 ist der steuerbare Reflektor 4 als steuerbarer Resonatorspiegel 6 und am anderen Ende des aktiven Mediums 12 ist der steuerbare Reflektor 5 als steuerbarer Auskoppelspiegel 7 angeordnet. Die Reflektoren 4, 5 können z. B. als Fabry-Perot-Resonator ausgebildet sein, deren Kavität ganz oder teilweise aus einem elektrooptischen Medium besteht, mittels dessen Brechzahl der Reflexionsgrad des Reflektors gesteuert wird.

Die steuerbaren Reflektoren 4 und 5 werden so angesteuert, daß der Laser gleichzeitig mit varierendem Leistungsverhältnis in beiden Richtungen  $R_1$  und  $R_2$  emittiert und die Inversionsdichte im aktiven Medium 12 konstant ist. Das nicht genutzte Licht der Richtung  $R_2$  wird in einer Strahlfalle 23 absorbiert. Der steuerbare Reflektor 4 dient gleichzeitig als Auskoppelspiegel 7 und somit ist das Licht der Richtung  $R_1$  das Nutzlicht mit der Wellenlänge  $\lambda_1$ .

Eine Weiterbildung des Zwei-Richtungsverfahrens besteht darin, daß dieses mit dem Zwei-Wellenlängenverfahren gemäß Fig. 1 oder mit dem Zwei-Polarisationsverfahren gemäß Fig. 2 verbunden wird (siehe auch Fig. 15). Die Laserkavität wird dann durch je einen steuerbaren wellenlängenselektiven oder polarisationsabhängigen Reflektor 4 und 5 gebildet. Im Falle des ausgeschalteten steuerbaren wellenlängenselektiven Reflektors 4, emittiert der Laser auf der durch den steuerbaren wellenlängenselektiven Reflektor 5 vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_2$  oder Polarisationsrichtung  $P_2$  in Rückwärtsrichtung  $R_2$  (nach links). Im Falle des eingeschalteten steuerbaren wellenlängenselektiven Reflektors 4 emittiert der Faserlaser auf der durch den steuerbaren wellenlängenselektiven Reflektor 4 vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_1$  oder Polarisationsrichtung  $P_1$  in Vorwärtsrichtung  $R_1$  (nach rechts).

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines modulierbaren Lasers in volumenoptischer Ausführung im Zwei-Wellenlängenverfahren gemäß Fig. 1 mit einer zwischen dem Auskoppelspiegel 7 und dem zweiten Wellenlängenteiler 13 eingefügten Verstärkerstufe 30.

Der zwei Wellenlängen erzeugende Laser aus Fig. 1 mit dem aktiven Medium 12 ist durch einen optischen Isolator 24 (z. B. Faraday-Isolator oder Spektralfilter) von einem Verstärkermedium 29 getrennt. Das Verstärkermedium 29 wird durch eine weitere Pumplichtquelle 22 gepumpt.

Sowohl das Pumplicht der Pumplichtquelle 2 für das aktive Medium 12 als auch das in der Laserkavität stehende modulierte Licht haben eine geringe optische Leistung. Somit werden keine extremen Anforderungen hinsichtlich der Leistungsfestigkeit an die steuerbaren Reflektoren 4 und 5 gestellt.

Im Verstärker 30 werden mittels des leistungsstarken Pumplichts aus der Pumplichtquelle 22 beide Wellenlängen des Laserlichts verstärkt. Der optische Isolator 24 verhindert die Rückstrahlung der leistungsverstärkten Lichtanteile und des Pumplichts in die Laserkavität. Somit wird eine leistungsbedingte Zerstörung der Komponenten des Lasers wirkungsvoll verhindert. Der zweite Wellenlängenteiler 13 trennt die genutzte Wellenlänge  $\lambda_1$  von der nicht genutzten Wellenlänge  $\lambda_2$ .

Fig. 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines modulierbaren Lasers in volumenoptischer Ausführung im Zwei-Polarisationsverfahren mit der eingefügten Verstärkerstufe 30.

Der zwei Polarisationsrichtungen erzeugende Laser aus Fig. 2 mit dem aktiven Medium 12 ist durch den optischen Isolator 24 von dem Verstärkermedium 29 getrennt. Sowohl das Pumplicht der Pumplichtquelle 2 als auch das modu-

lierte Licht innerhalb der Kavität des Lasers haben eine geringe optische Leistung. Die zu Fig. 4 gemachten Ausführungen gelten in analoger Weise. Der Polarisationssteiler 15 trennt das Licht der genutzten Polarisationsrichtung  $P_1$  von dem Licht der nicht genutzten Polarisationsrichtung  $P_2$ .

Fig. 6 zeigt eine Ausführung eines modulierbaren Lasers in volumenoptischer Ausführung im Zwei-Richtungsverfahren gemäß Fig. 3.

Licht aus der Pumplichtquelle 2 mit der Wellenlänge  $\lambda_p$  wird in das aktive Medium 12 eingestrahlt. Die Einstrahlung erfolgt in transversaler Weise. Das aktive Medium 12 ist in der Lage, auf der Wellenlänge  $\lambda_1$  zu emittieren.

An beiden Enden des aktiven Mediums ist je ein steuerbarer Reflektor 4 und 5 angeordnet, die die Resonatorspiegel 6 und 7 bilden. Der steuerbare Reflektor 4, 5 besteht aus jeweils zwei einzelnen Spiegeln 83 und 84, die ein Fabry-Perot-Interferometer bilden. Zwischen beiden Spiegeln 83 und 84 ist ein Medium 85 angeordnet, welches den linearen elektrooptischen Effekt aufweist, beispielsweise Lithiumniobat oder Kaliumdihydrogenphosphat.

Das elektrooptische Medium 85 wird mit einem elektrischen Feld beaufschlagt, welches von zwei Elektroden 86 und 87 erzeugt wird, an die jeweils eine der Steuerspannungen 81 und 82 angelegt wird. Dieses Feld bewirkt eine Änderung der Brechzahl des elektrooptischen Mediums 85.

In Abhängigkeit der Brechzahl des elektrooptischen Mediums 85, d. h. der Steuerspannung 81, 82, kann der Transmissionsgrad bzw. der Reflexionsgrad des Fabry-Perot-Interferometers, d. h., des steuerbaren Resonatorspiegels 6 und des Auskoppelspiegels 7 in gegenläufiger Weise zwischen Null und einem Maximalwert eingestellt werden.

Die steuerbaren Reflektoren 4, 5 werden so angesteuert, daß der Laser gleichzeitig mit varierendem Leistungsverhältnis in beiden Richtungen  $R_1$  und  $R_2$  emittiert und die Inversionsdichte im aktiven Medium 12 konstant ist. Das nicht genutzte Licht der Richtung  $R_2$  wird in einer Strahlfalle 23 absorbiert.

Fig. 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines modulierbaren Faserlasers 25 entsprechend dem Zwei-Wellenlängenverfahrens in Analogie zu Fig. 1. Licht aus der Pumplichtquelle 2 mit der Wellenlänge  $\lambda_p$  wird in die aktive, mit Nd-dotierte Faser 19 eingekoppelt. Die Einkopplung des Pumplichtes kann durch transversale Kopplung (z. B. mittels Fasergittern), durch longitudinale Kopplung (z. B. mittels Linsen in die Stirnfläche) oder durch Verbindungsauflipper in faser-optischer, integriert-optischer, mikrooptischer oder miniaturisiert-optischer Bauweise erfolgen. Ein Ende der aktiven Faser 19 ist mit dem steuerbaren Resonatorspiegel 6 verbunden.

Dieser ermöglicht die Modulation des in der Laserkavität stehenden Lichts dergestalt, daß die Inversionsdichte in dem aktiven Medium 12 konstant ist, d. h. bei steigender Lichtleistung der Wellenlänge  $\lambda_1$  die Lichtleistung der Wellenlänge  $\lambda_2$  entsprechend abnimmt oder umgekehrt. Ein Auskoppelspiegel 7 befindet sich auf dem Querschnitt am zweiten Ende der aktiven Faser 19. Dieses ist mit dem Wellenlängenteiler 13 optisch verbunden, der die zu nutzende Wellenlänge  $\lambda_1$  von der nicht genutzten Wellenlänge  $\lambda_2$  trennt. Letztere wird in der Strahlfalle 23 absorbiert.

Fig. 8 zeigt den prinzipiellen Aufbau des modulierbaren Faserlasers 25 entsprechend des Zwei-Polarisationsverfahrens in Analogie zu Fig. 2.

Licht aus der Pumplichtquelle 2 mit der Wellenlänge  $\lambda_p$  wird in die aktive, mit Pr/Yb-dotierte Faser 19 eingekoppelt. Ein Ende der aktiven Faser 19 ist mit dem steuerbaren Reflektor 6 verbunden. Dieser Reflektor ermöglicht die Modulation des emittierten Signallichts dergestalt, daß die Inversionsdichte in dem aktiven Medium 12 konstant ist, d. h. bei

steigender Lichtleistung der Polarisation  $P_1$ , die Lichtleistung der Polarisation  $P_2$  abnimmt oder umgekehrt. Auf einem zweiten Ende der Faser 19 ist der Auskoppelspiegel 7 aufgebracht. Das zweite Ende der aktiven Faser 19 ist mit dem Polarisationssteiler 15 verbunden, der das Licht der zu nutzenden Polarisation  $P_1$  vom Licht der nicht genutzten Polarisation  $P_2$  trennt. Letzteres wird in einer Strahlfalle 23 absorbiert.

Fig. 9 zeigt den prinzipiellen Aufbau des modulierbaren Faserlasers 25 entsprechend dem Zwei-Richtungsverfahren in Analogie zu Fig. 3. Der Faserlaser ist mit je einem steuerbaren Reflektor 4, 5 an jeweils einem der Faserenden ausgestattet. Im Falle des ausgeschalteten steuerbaren Reflektors 4 emittiert der Faserlaser auf der durch den steuerbaren Reflektor 5 vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_1$  in Rückwärtsrichtung  $R_2$  (nach links). Im Falle des eingeschalteten steuerbaren wellenlängenselektiven Reflektors 4 emittiert der Faserlaser mit dem durch den steuerbaren Reflektor 5 vorgegebenen Grad in Vorwärtsrichtung  $R_1$  (nach rechts).

Die steuerbaren Reflektoren des Faserlasers werden Gegenakt geschaltet und auf der gleichen Wellenlänge  $\lambda_1$  betrieben, wodurch der Faserlaser in einem bestimmten Grad in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung emittiert, wobei die Inversionsdichte in dem aktiven Medium 12 konstant gehalten wird. Weiterhin ist hier vorteilhaft, Reflektoren 29 für das Pumplicht an den Ausgängen des Faserlasers vorzusehen.

Fig. 10 zeigt einen modulierbaren Faserlaser im Zwei-Wellenlängenverfahren mit nachfolgender Verstärkerstufe in Analogie zu Fig. 4.

Der zwei Wellenlängen erzeugende Laser 25 aus Fig. 6 mit der aktiven Faser 19 ist durch den optischen Isolator (z. B. Faraday-Isolator oder Spektralfilter) von einem Faserverstärker 26 mit der weiteren aktiven Faser 27 getrennt.

Sowohl das Pumplicht der Pumplichtquelle 2 als auch das modulierte Licht des Faserlasers haben eine geringe optische Leistung. Somit werden keine extremen Anforderungen hinsichtlich der Leistungsfestigkeit an den steuerbaren Reflektor gestellt. Im Faserverstärker 26 wird mittels leistungsstarken Pumplichts aus der Pumplichtquelle 22 beide Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  des Laserlichts verstärkt. Der optische Isolator 24 verhindert die Rückstrahlung des leistungsstarken Lichts in den Faserlaser 25 und somit eine leistungsbedingte Zerstörung der Komponenten des Faserlasers. Der Wellenlängenteiler 13, ein dichroitischer Strahlteiler, trennt das genutzte vom nicht genutzten Licht.

Fig. 11 zeigt einen modulierbaren Faserlaser im Zwei-Polarisationsverfahren mit nachfolgender Verstärkerstufe in Analogie zu Fig. 5.

Der zwei Polarisationsrichtungen erzeugende Laser aus Fig. 8 mit der aktiven Faser 19 ist durch den optischen Isolator 24 von dem Faserverstärker 26 mit der aktiven Faser 27 getrennt. Im Faserverstärker 26 werden mittels des leistungsstarken Pumplichts aus der Pumplichtquelle 22 die beiden Polarisationen des Laserlichts  $P_1$  und  $P_2$  verstärkt. Der Polarisationssteiler 15 trennt das genutzte vom nicht genutzten emittierten Signallicht.

Fig. 12 zeigt einen detaillierten Gesamtaufbau eines modulierbaren Faserlasers nach dem Zwei-Wellenlängenverfahren gemäß Fig. 7. Ein Ende der aktiven Faser 19 ist mit einer weiteren Faser 17 gekoppelt, die einen Faser-Schmelzkoppler 31, der als Wellenlängenmultiplexer ausgebildet ist, enthält. Dieser dient der Einkopplung des Pumplichts der Wellenlänge  $\lambda_p$  aus der Pumplichtquelle 2 durch einen Pumplichtzweig 32 in die aktive Faser 19. Während des Durchlaufens wird die aktive Faser 19 angeregt und emittiert Licht (Signallicht) auf den durch die Dotierung vorgegebenen Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ . Dieses Licht breitet sich in der aktiven Faser aus und trifft am anderen Ende der aktiven Faser

19 auf den steuerbaren Resonatorspiegel 6, mit dem der Reflexionsgrad für zwei Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  getrennt gesteuert wird. Somit wird die Rückkopplung des Faserlasers gesteuert und der Laserprozeß vollzieht sich nur für die Wellenlängen, für die mittels der Steuersignale 81 und 82 eine hohe Reflektivität eingestellt ist.

Der steuerbare Resonatorspiegel 6 besteht im Beispiel aus zwei hintereinander angeordneten steuerbaren Wellenleiter-Bragg-Reflektoren 91 und 92 an einem integriert-optischen Wellenleiter 35, die auf einem Substrat 36 aufgebracht sind. Der Wellenleiter 35 ist optisch an die aktive Faser 19 gekoppelt. Die steuerbaren Wellenleiter-Bragg-Reflektoren 91 und 92 weisen ein sehr schmalbandiges Reflexionsspektrum auf, d. h., es wird im angesteuerten Fall von jedem Gitter nur eine Wellenlänge reflektiert bzw. durch Reflexion aus spektral breitbandigem Licht ausgefiltert. Die Periode der steuerbaren Wellenleiter-Bragg-Reflektoren 91 und 92 ist so bemessen, daß im Wellenleiter-Bragg-Reflektor 91 die Wellenlänge  $\lambda_1$  und im Wellenleiter-Bragg-Reflektor 92 die Wellenlänge  $\lambda_2$  reflektiert wird. Die Steuerung der Reflektivität der Bragg-Reflektoren 91 und 92 erfolgt durch Steuerung der Brechzahlmodulation im Bragg-Gitter. Hierzu wird im Beispiel der akustooptische Effekt genutzt.

Im Falle der Ansteuerung des Wellenleiter-Bragg-Reflektors 92 wird Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$  entsprechend dem Ansteuersignal 82 ganz oder teilweise reflektiert, während Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  diesen Reflektor unbeeinflußt passieren kann. Im Falle der Ansteuerung des Wellenleiter-Bragg-Reflektors 91 wird Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  entsprechend dem Ansteuersignal 81 ganz oder teilweise reflektiert, während Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$ , das den Reflektor 92 passiert hat, auch den Reflektor 91 unbeeinflußt passieren kann. Nicht reflektierte Lichtanteile werden im Wellenleiter weitergeführt und können abgestrahlt bzw. in einer Strahlfalle 23 absorbiert werden. Somit können aus dem Wellenlängenspektrum der Pumplichtquelle 2 die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  selektiv steuerbar ausgefiltert bzw. die Intensität des Licht zweier Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  moduliert werden.

Das emittierte Signallicht der Wellenlängen  $\lambda_1$  und/oder  $\lambda_2$  durchläuft weiterhin einen Signallichtzweig 33 des Faser-Schmelzkoppler 31. Der Wellenlängenteiler 13 ist hier ein zweiter Faser-Schmelzkoppler 34, der als Wellenlängenmultiplexer ausgebildet ist. Dieser trennt die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ . Die nicht genutzte Wellenlänge  $\lambda_2$  wird in der Strahlfalle 23 absorbiert. Falls erforderlich, kann im Signallichtzweig 33 ein Pumplichtreflektor 39 angeordnet werden.

Fig. 13 zeigt den detaillierten Gesamtaufbau eines modulierbaren Faserlasers nach dem Zwei-Wellenlängenverfahren gemäß Fig. 8. Ein Ende der aktiven Faser 19 ist mit einer weiteren Faser 17 gekoppelt, die einen Faser-Schmelzkoppler 31, der als Wellenlängen-Multiplexer ausgebildet ist, enthält. Dieser dient der Einkopplung des Pumplichts der Wellenlänge  $\lambda_p$  aus einer Pumplichtquelle 2 durch den Pumplichtzweig 32 in die aktive Faser 19. Während des Durchlaufens wird die aktive Faser mit angeregt und emittiert Licht (Signallicht) auf den durch die Dotierung vorgegebenen Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ .

Dieses Licht breitet sich in der aktiven Faser 19 aus und trifft am anderen Ende der aktiven Faser auf den steuerbaren Reflektor 6 mit dem der Reflexionsgrad für zwei Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  getrennt gesteuert wird. Der steuerbare Reflektor 6 ist hier aus einem passiven Wavelength Division-Multiplexer (WDM) und zwei Intensitätsmodulatoren in integriert-optischer Bauweise in einem Substrat 36 aufgebaut. Im Wellenleiter 35 einlaufendes Licht passiert einen Richtkoppler als integriertes WDM-Element 95 (Kante, Müller, "Integrierte Optik", Akadem. Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig 991). Dieser besteht aus zwei im Ab-

stand weniger Mikrometer parallel geführten Wellenleitern. Das geführte Licht koppelt periodisch zwischen den beiden Wellenleitern hin und zurück. Aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungskonstanten des Lichts der Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  tritt nach einer bestimmten Länge der Fall ein, daß das Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  vollständig im in der Figur oberen Wellenleiter und das Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$  vollständig im in der Figur unteren Wellenleiter geführt wird.

An diesem Punkt werden beide Wellenleiter auseinandergeführt, so daß das Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  vollständig im oberen Wellenleiterzweig und das Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$  vollständig im unteren Wellenleiterzweig geführt wird. Jeder Lichtanteil passiert weiterhin jeweils einen elektrooptisch steuerbaren, integriert-optischen Intensitätsmodulator 93 und 94, die mit den Steuersignalen 81 und 82 beaufschlagt werden. Die Rückreflexion erfolgt an jeweils einer der verspiegelten Wellenleiterendflächen 19<sub>1</sub> und 19<sub>2</sub>. Falls zur besseren Wellenlängenselektion erforderlich, können die verspiegelten Wellenleiterendflächen wellenlängenselektiv verspiegelt sein. Der weitere Lichtweg vollzieht sich in umgekehrter Folge zum Wellenleiter 35 zurück.

Somit wird die Rückkopplung des Faserlasers gesteuert und der Laserprozeß vollzieht sich nur für die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , für die mittels der Steuersignale 81 und 82 eine bestimmte Reflektivität eingestellt ist. Das Laserlicht der Wellenlängen  $\lambda_1$  und/oder  $\lambda_2$  durchläuft weiterhin den Signallichtzweig 33 des Faser-Schmelzkopplers 31. Der Wellenlängenteiler 13 ist hier ein zweiter Faser-Schmelzkoppler 34. Er trennt die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ . Das Licht der nicht genutzten Wellenlänge  $\lambda_2$  wird in der Strahlfalle 23 absorbiert. Falls erforderlich, kann im Signallichtzweig 33 ein Pumplichtreflektor 39 angeordnet werden. Der hier beschriebene Aufbau ist für das Zwei-Polarisationsverfahren analog.

Fig. 14 zeigt den detaillierten Gesamtaufbau eines modulierbaren Faserlasers nach dem Zwei-Richtungsverfahren gemäß Fig. 9. Ein Ende der aktiven Faser 19 ist mit einer weiteren Faser 17 gekoppelt, die einen Faser-Schmelzkoppler 31, der als Wellenlängenmultiplexer ausgebildet ist, enthält. Dieser dient der Einkopplung des Pumplichts der Wellenlänge  $\lambda_p$  aus einer Pumplichtquelle 2 durch den Pumplichtzweig 32 in die aktive Faser 19. Während des Durchlaufens wird die aktive Faser angeregt und emittiert Licht (Signallicht) auf der durch den Resonator vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda_1$ . Dieses Licht breitet sich in der aktiven Faser 19 und der weiteren Faser 17, und dem Signallichtzweig 33 aus und trifft an beiden Enden auf steuerbare Reflektoren 4 und 5, mit denen der Reflexionsgrad des ankommenden Lichts gesteuert werden kann. Die steuerbaren Reflektoren 4 und 5 sind nach dem Prinzip des integriert-optischen Michelson-Interferometers in einem Substrat 36 aufgebaut. Mittels je eines Phasenmodulators 96, 97 in Kombination mit je einem phasenempfindlichen Bauelement 98, 99 wird der Reflexionsgrad für die Wellenlänge  $\lambda_1$  stufenlos eingestellt. Durch entsprechende Ansteuerung der steuerbaren Reflektoren 4 und 5 kann das Verhältnis der Vorwärtsemision ( $R_1$ ) und Rückwärtsemision ( $R_2$ ) eingestellt werden. Falls erforderlich, kann vor die Eingänge der steuerbaren Reflektoren ein Pumplichtreflektor 39 angeordnet werden.

Fig. 15 zeigt den detaillierten Gesamtaufbau eines modulierbaren Faserlasers, bei dem eine Kombination Zwei-Wellenlängenverfahren und Zwei-Richtungsverfahren realisiert ist. Beide Enden der aktiven Faser korrespondieren mit je zwei steuerbaren Reflektoren 4, 6 und 5, 7 analog Fig. 14, denen je ein Wellenlängenteiler 95 vorgeschaltet ist und die jeweils in einem integriert-optischen Chip 100 zusammengefaßt sind. Diese Bauelemente wirken als steuerbare Reflektoren 5 und 6 und sind gleichzeitig wellenlängenselektiv

als Wellenlängenteiler 11. Auf diese Weise emittiert der Faserlaser Licht der Wellenlänge  $\lambda_1$  aus dem in der Figur unteren steuerbaren Reflektor 5 und Licht der Wellenlänge  $\lambda_2$  aus dem in der Figur oberen steuerbaren Reflektor 4. Bei Verzicht auf einen der steuerbaren Reflektoren 4 oder 5 geht das Funktionsprinzip zum normalen Zwei-Wellenlängenverfahren analog Fig. 13 über.

## Patentansprüche

1. Direkt modulierbarer Laser, bestehend aus einem aktiven Medium (12) innerhalb einer durch einen Resonatorspiegel (6) und einen Auskoppelspiegel (7) gebildeten Laserkavität und einer das aktive Medium (12) anregenden Pumplichtquelle (2), dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium (12) Strahlung zweier Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) erzeugt und der Resonatorspiegel (6) als steuerbarer Reflektor ausgebildet ist, mit dem die Reflektivität für jede der beiden Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) steuerbar ist und der steuerbare Reflektor (4, 5) mit einer Ansteuereinheit (1) verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium (12) erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Lichtleistung einer der Wellenlängen ( $\lambda_1$ ) zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal (E) aussteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) im Gegentakt erfolgt.
2. Direkt modulierbarer Laser nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die zwei Emissionswellenlängen in einem breitbandig verstärkenden Medium erzeugt werden.
3. Direkt modulierbarer Laser nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die zwei Emissionswellenlängen in einem auf zwei verschiedenen Linien verstärkenden aktiven Medium erzeugt werden.
4. Direkt modulierbarer Laser, bestehend aus einem aktiven Medium (12) innerhalb einer durch einen Resonatorspiegel (6) und einen Auskoppelspiegel (7) gebildeten Laserkavität und einer das aktive Medium (12) anregenden Pumplichtquelle (2), dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium (12) Strahlung einer Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) mit zwei Polarisationsrichtungen ( $P_1$  und  $P_2$ ) erzeugt und der Resonatorspiegel (6) als steuerbarer Reflektor ausgebildet ist, mit dem die Reflektivität für jede der beiden Polarisationen ( $P_1$  und  $P_2$ ) steuerbar ist und der steuerbare Reflektor (4, 5) mit einer Ansteuereinheit (1) verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium (12) erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Lichtleistung einer der Polarisationen ( $P_1$ ) zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal (E) aussteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Polarisationsrichtungen ( $P_1$  und  $P_2$ ) im Gegentakt erfolgt.
5. Direkt modulierbarer Laser, bestehend aus einem aktiven Medium (12) innerhalb einer durch einen Resonatorspiegel (6) und einen Auskoppelspiegel (7) gebildeten Laserkavität und einer das aktive Medium (12) anregenden Pumplichtquelle (2), dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Medium (12) Strahlung einer Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) erzeugt und der Resonatorspiegel (6) und der Auskoppelspiegel (7) jeweils als steuerbare Reflektoren ausgebildet sind, mit denen die Richtung ( $R_1$  und  $R_2$ ) der Lichtabstrahlung steuerbar ist und jeder der steuerbaren Reflektoren (4, 5) mit einer Ansteuerung

ereinheit (1) verbunden ist, wobei die Ansteuerung des Reflexionsgrades so erfolgt, daß die in dem aktiven Medium (12) erzeugte Inversionsdichte der Elektronen konstant ist und die Lichtleistung einer der Richtungen ( $R_1$ ) zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert gemäß einem anliegenden Steuersignal ( $E$ ) aussteuerbar ist, wobei die Aussteuerung der zwei Richtungen ( $R_1$  und  $R_2$ ) im Gegentakt erfolgt.

6. Direkt modulierbarer Laser nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 3 oder Anspruch 4 oder 10 Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, daß das aktive Medium aus einem Festkörper oder einer Lichtleitfaser besteht.

7. Direkt modulierbarer Laser nach einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 3 oder Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, daß die Selektion der zwei Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) oder der zwei Polarisationen ( $P_1$  und  $P_2$ ) nach dem Ausgang des Lasers erfolgt.

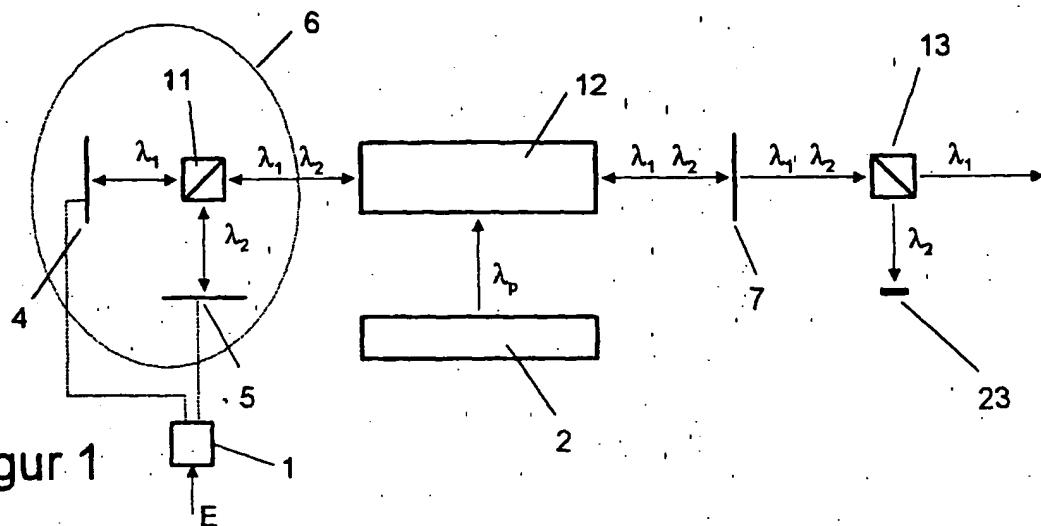
8. Direkt modulierbarer Laser nach Anspruch 6, gekennzeichnet dadurch, daß das modulierte Laserlicht in 20 einem Festkörper-Verstärker oder Faser-Verstärker nachverstärkt wird.

9. Direkt modulierbarer Laser nach Anspruch 8 und einem oder mehreren der Ansprüche von 1 bis 3 oder nach Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, daß die Selektion der zwei Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) oder der zwei Polarisationen ( $P_1$  und  $P_2$ ) nach dem Ausgang der Verstärkerstufe erfolgt.

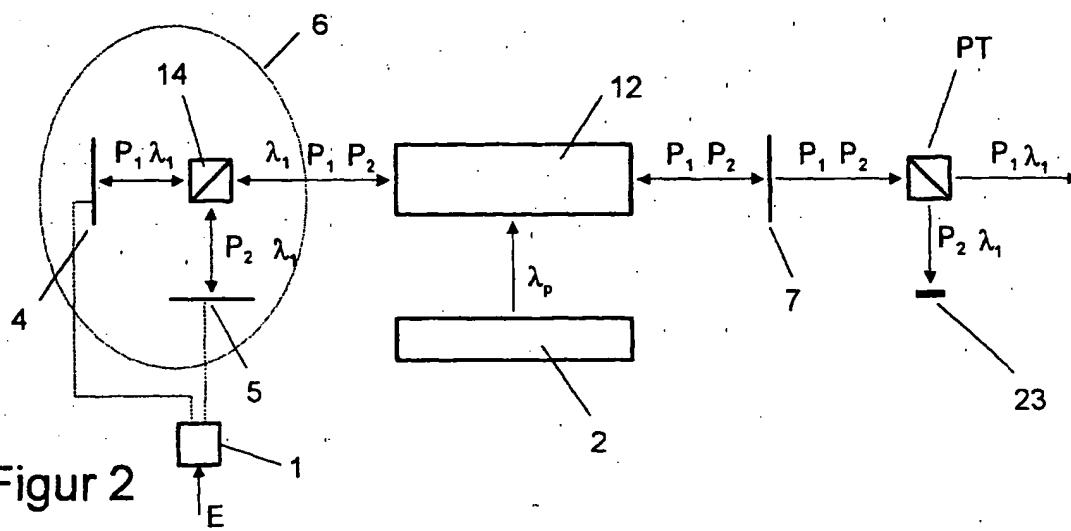
10. Direkt modulierbarer Laser nach Anspruch 5 und nach Anspruch 1 oder nach Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, daß der Resonatorspiegel (6) und der Auskoppelspiegel (7) jeweils als wellenlängenselektive oder polarisationsselektive steuerbare Reflektoren ausgebildet sind und das aktive Medium (12) Strahlung zweier Wellenlängen ( $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ ) erzeugt oder das aktive Medium (12) Strahlung einer Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) mit zwei Polarisationsrichtungen ( $P_1$  und  $P_2$ ) erzeugt.

---

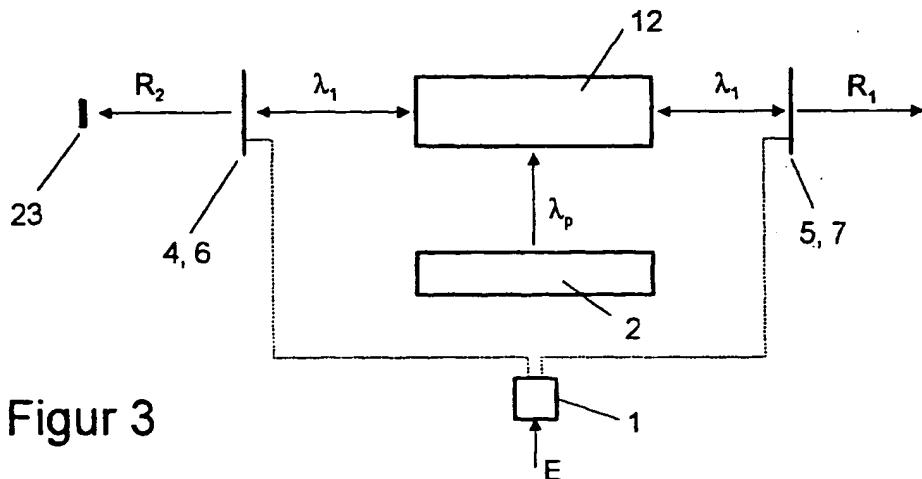
Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen



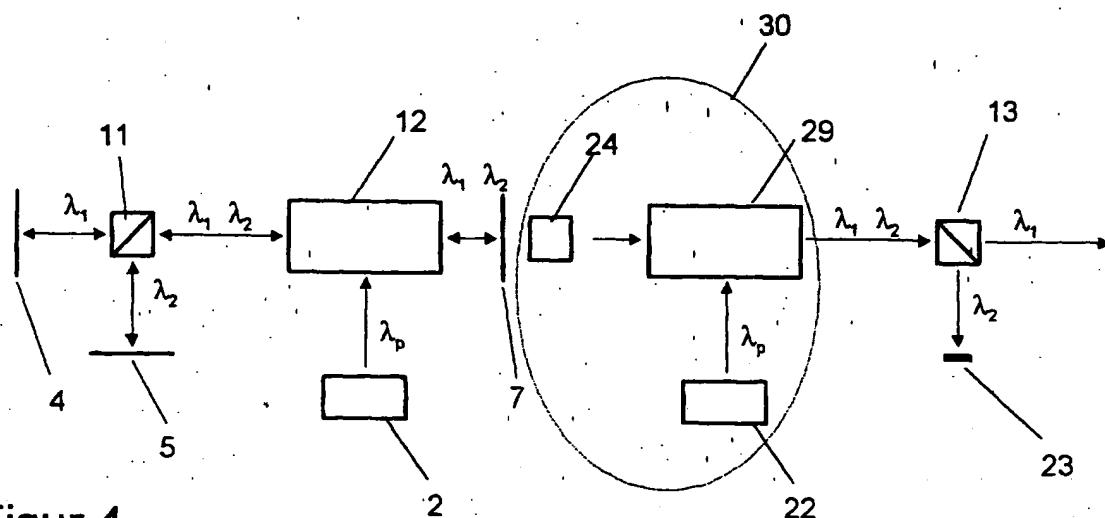
Figur 1



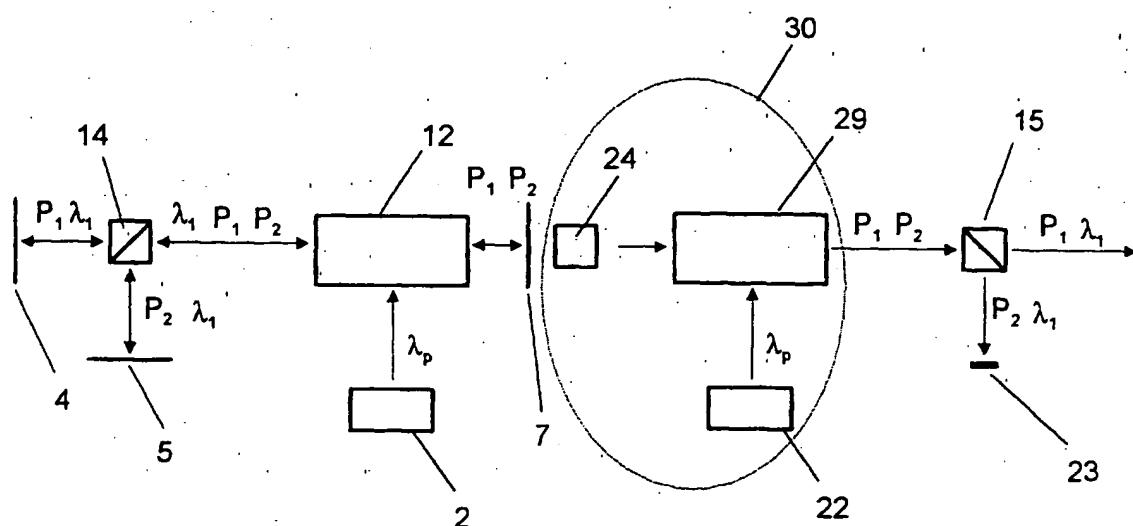
Figur 2



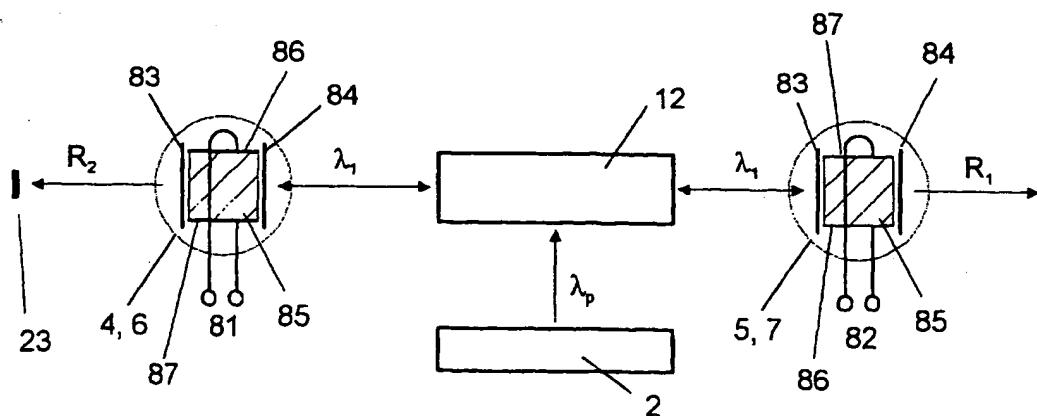
Figur 3



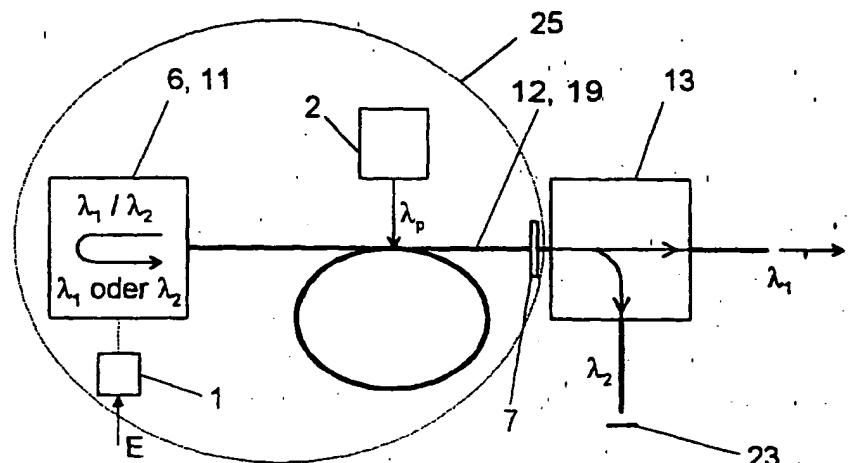
Figur 4



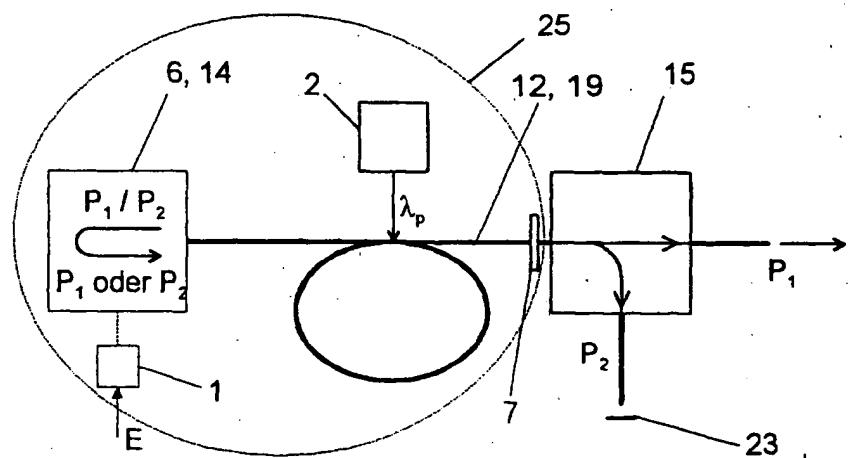
Figur 5



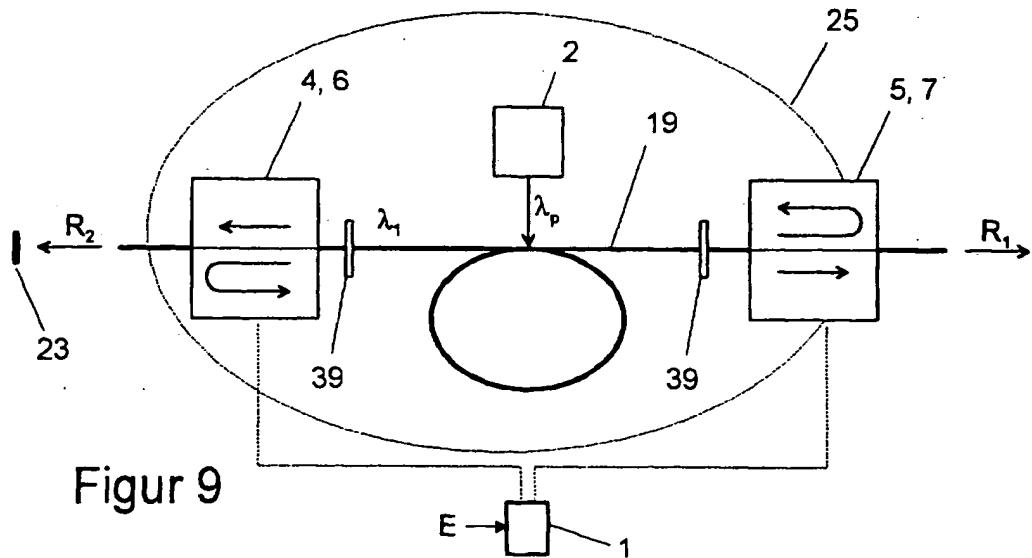
Figur 6



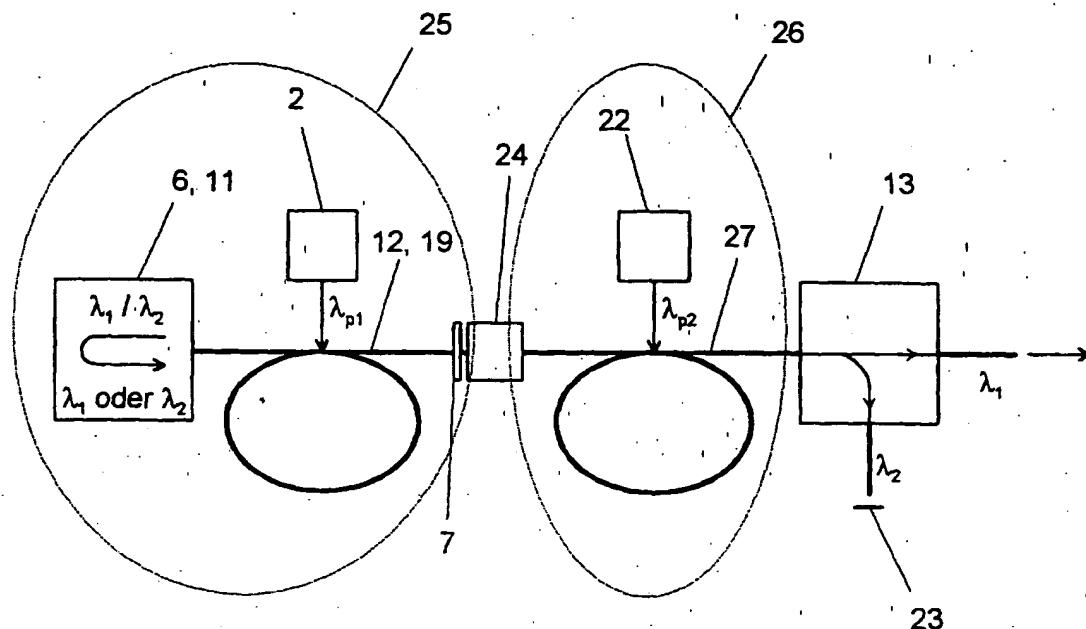
Figur 7



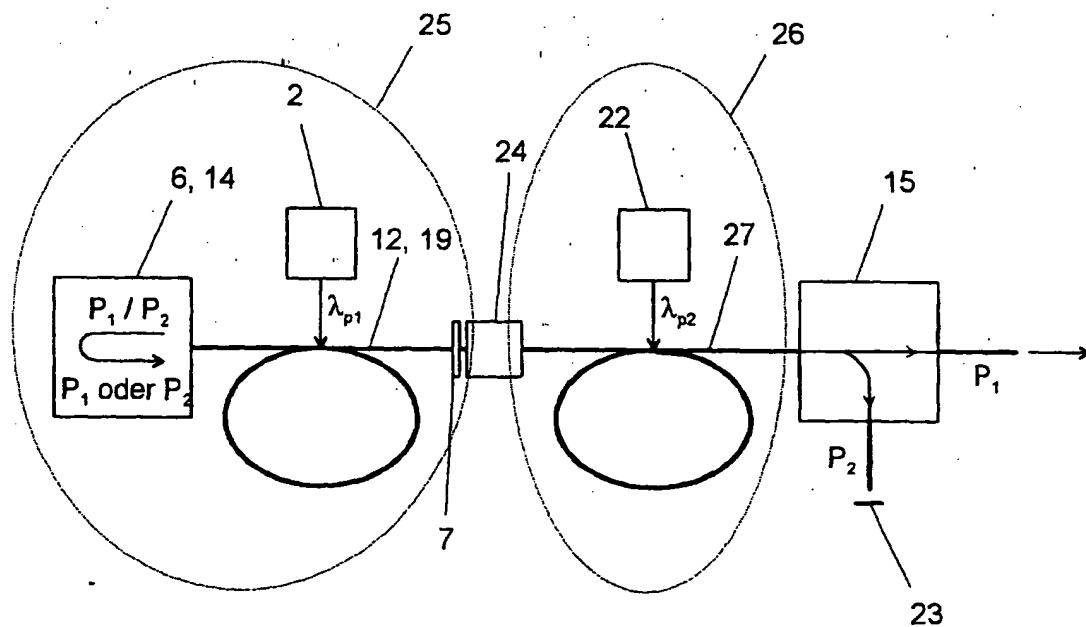
Figur 8



Figur 9



Figur 10



Figur 11

BEST AVAILABLE COPY

ZEICHNUNGEN SEITE 5

Nummer:

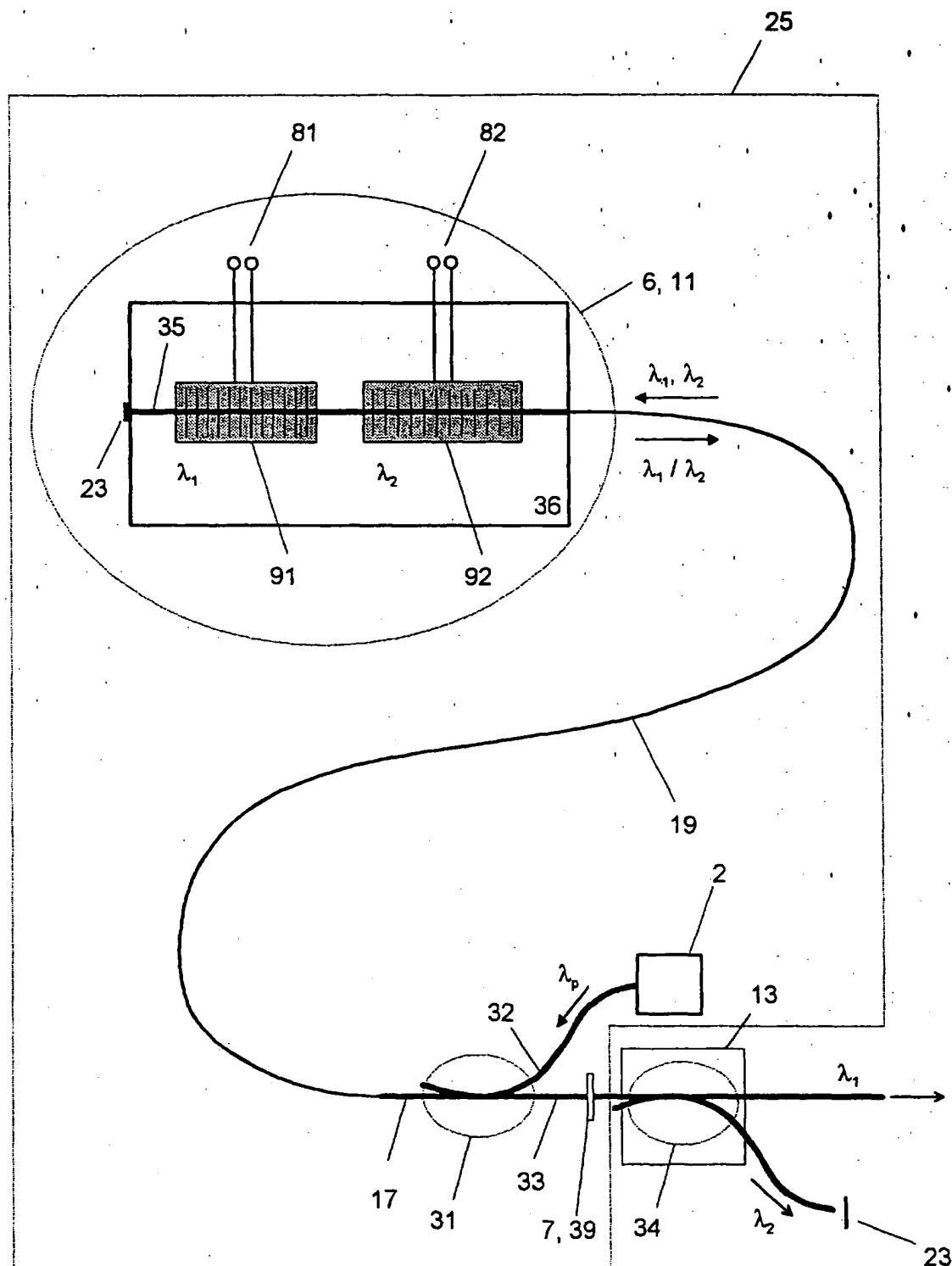
DE 100 06 050 A1

Int. Cl. 7:

H 01 S 3/105

Offenlegungstag:

23. August 2001



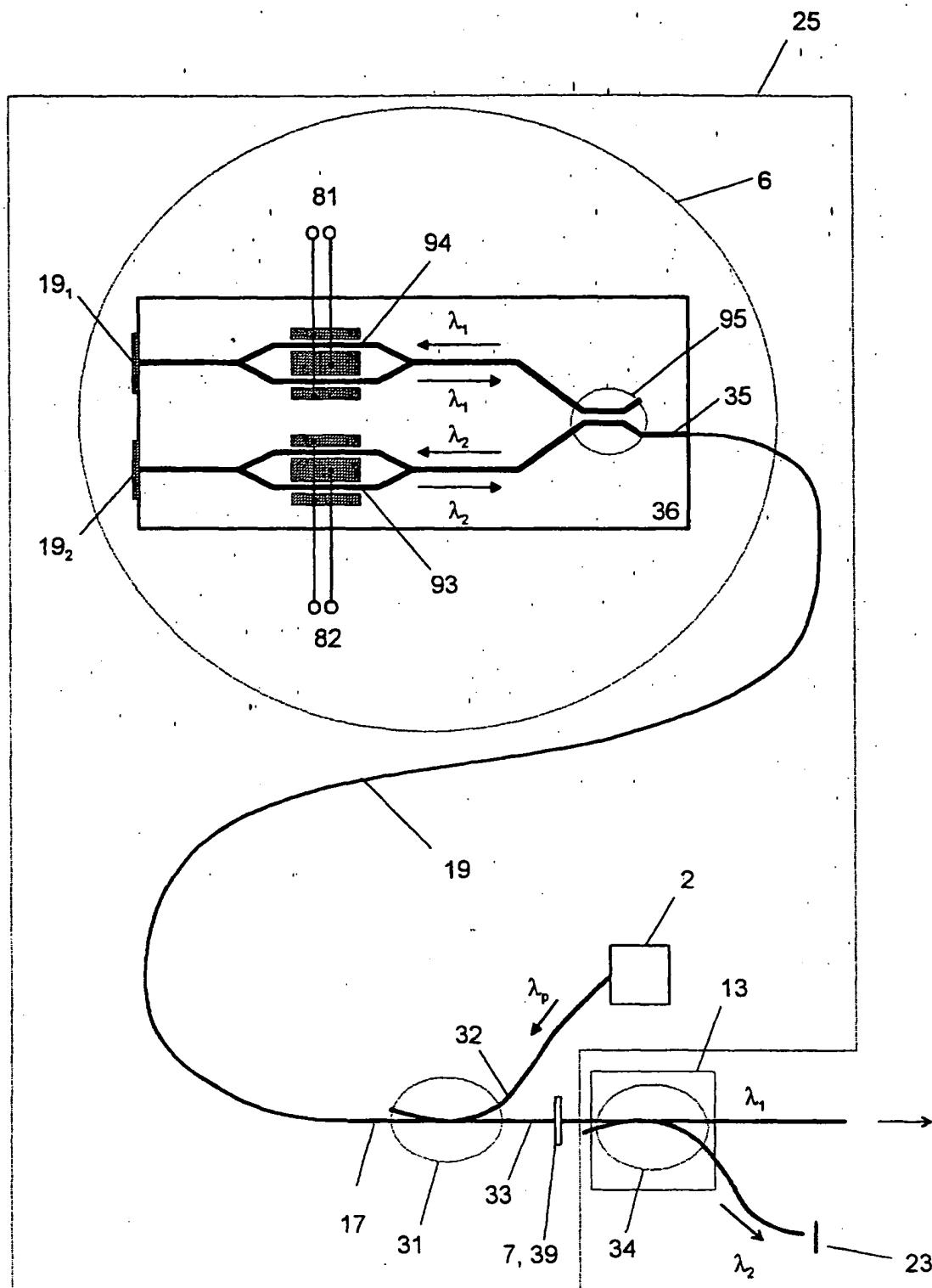
Figur 12

# BEST AVAILABLE COPY

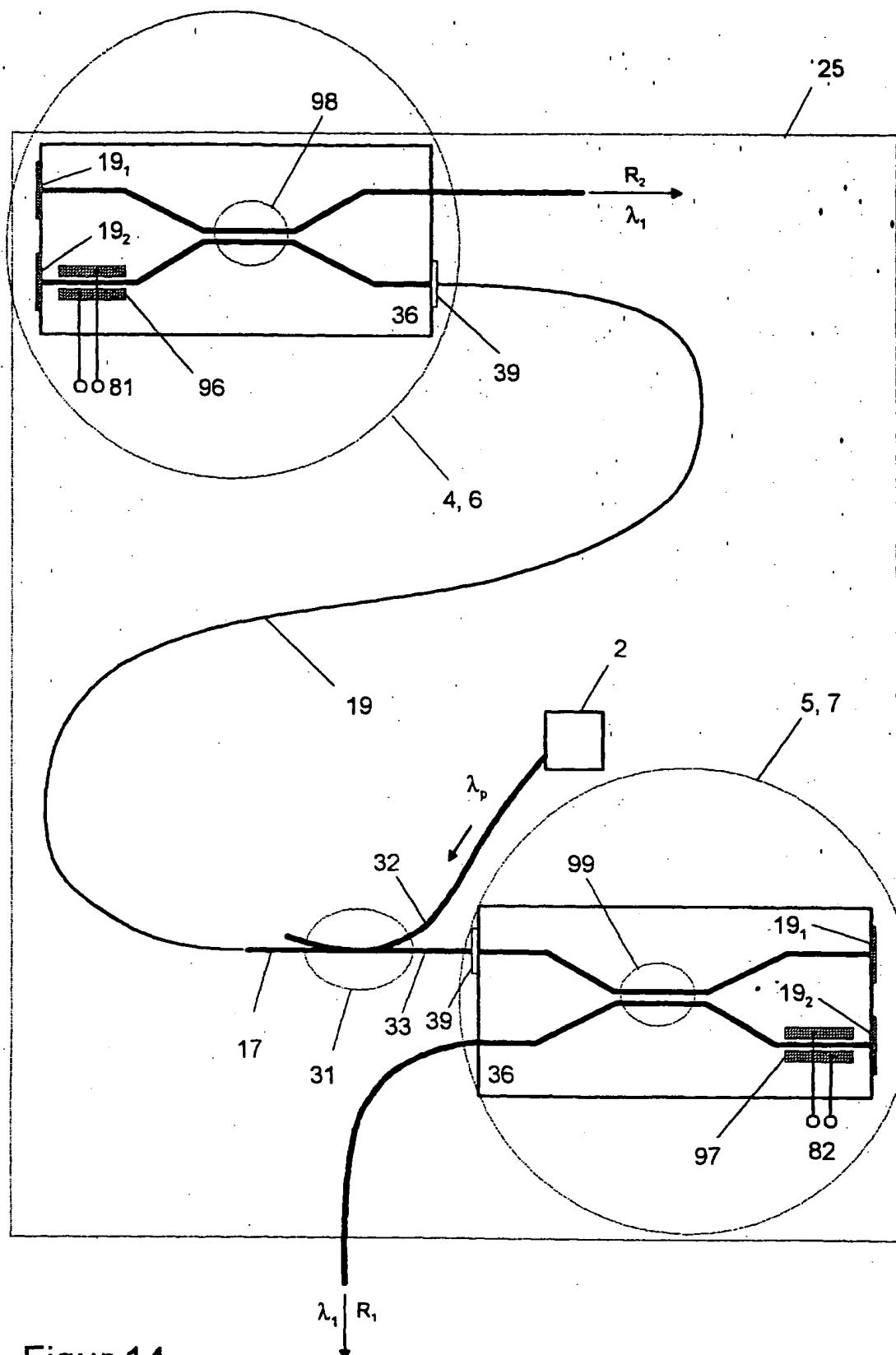
ZEICHNUNGEN SEITE 6

Nummer:  
Int. Cl. 7:  
Offenlegungstag:

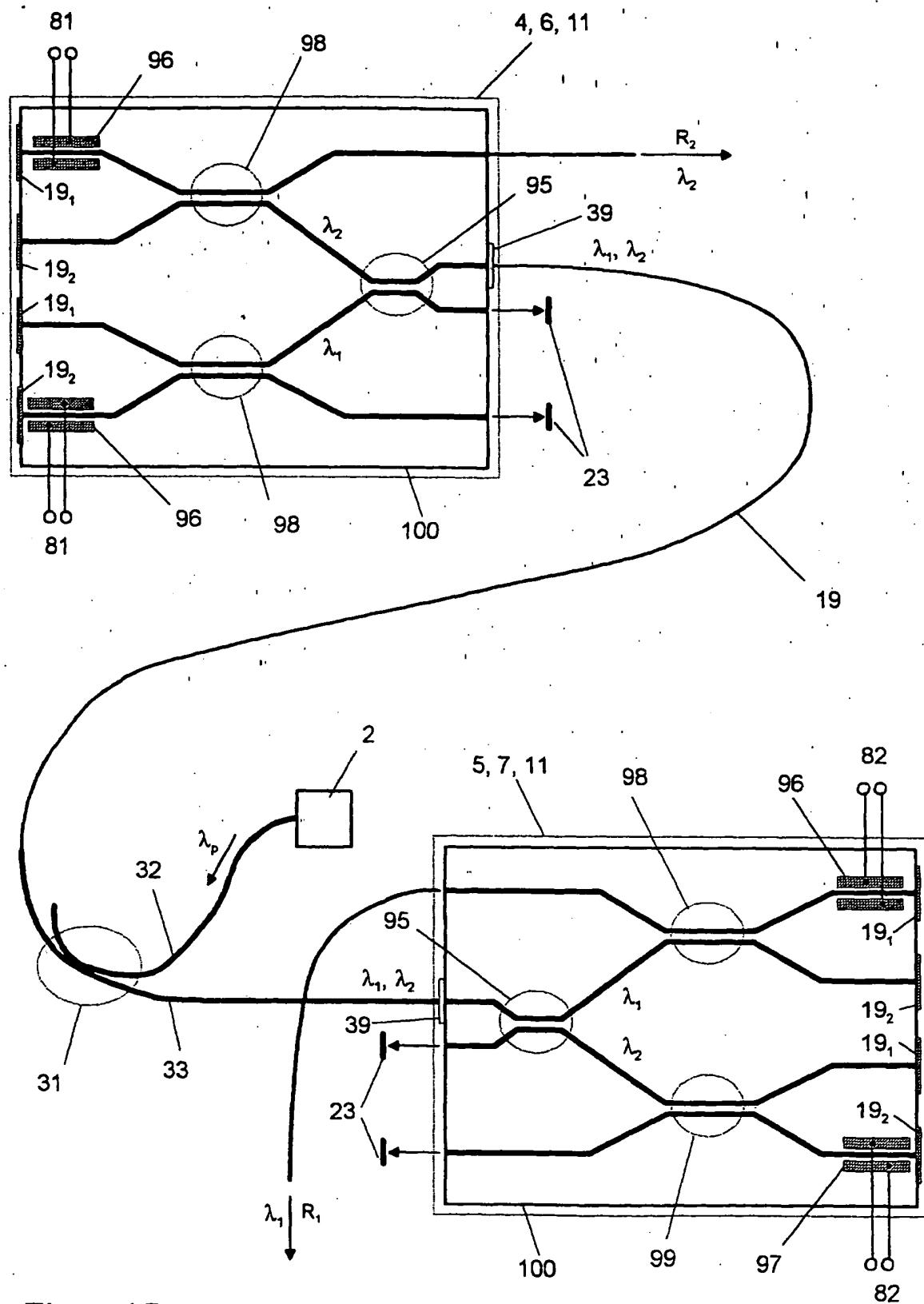
DE 100 06 050 A1  
H01S 3/105  
23. August 2001



Figur 13



Figur 14



Figur 15